

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 12 MAY 2004

WIPO

PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

103 16 414.6

**Anmeldetag:**

10. April 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,  
76133 Karlsruhe/DE

**Bezeichnung:**

Lichtleitendes Material und Verfahren zu  
dessen Herstellung

**IPC:**

G 02 B 1/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A 9161  
06/00  
EDV-L

Kahle

Forschungszentrum  
Karlsruhe GmbH  
ANR 5661498

Karlsruhe, den 8. April 2003  
PLA 0316 SG/KB

**Lichtleitendes Material und Verfahren zu dessen Herstellung**

Forschungszentrum  
Karlsruhe GmbH  
ANR 5661498

Karlsruhe, den 8. April 2003  
PLA 0316 SG/KB

**Patentansprüche:**

1. Lichtleitendes Material aus einem transparenten organischen Feststoff, dadurch gekennzeichnet, dass darin mindestens eine elektronenreiche organische Verbindung gelöst ist.
2. Lichtleitendes Material nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der transparente organische Feststoff Polymere oder Mischungen aus Polymeren und Monomeren umfasst.
3. Lichtleitendes Material nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Polymere Polymethylmethacrylat (PMMA) und/oder Polyester umfassen.
4. Lichtleitendes Material nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Monomere Methylmethacrylat (MMA) umfassen.
5. Lichtleitendes Material nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronenreiche organische Verbindung eine elektronenreiche zyklische organische Verbindung umfasst, die kein oder mindestens ein Heteroatom enthält.
6. Lichtleitendes Material nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronenreiche organische Verbindung Phenanthren, Anthracen, Fluoren, 1,10-Phenantroline, Phenanthridin, 1,7-Phenantroline, 5,12-Naphhtacenequinone, 2,3-Benzanthracene und/oder Phenazin umfasst.

7. Lichtwellenleiter, umfassend einen Kern aus einem lichtleitenden Material gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6.
8. Lichtwellenleiter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern in Form von dünnen Platten vorliegt.
9. Lichtwellenleiter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern in Form einer gefüllten Grabenstruktur auf einem Substrat vorliegt.
10. Lichtwellenleiter nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Brechungsindex des Kerns für eine Wellenlänge im Bereich von 200 nm bis 2000 nm einstellbar ist.
11. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials, umfassend die folgenden Verfahrensschritte:
  - a) Bereitstellen eines aushärtbaren organischen Materials,
  - b) Einbringen mindestens einer elektronenreichen organischen Verbindung in das aushärtbare organische Material,
  - c) Aushärten des aushärtbaren organischen Materials zu einem transparenten organischen Feststoff, in dem die elektronenreiche organische Verbindung gelöst ist.
12. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das aushärtbare organische Material ein Polymer oder eine Mischung aus einem Polymer und einem Monomer umfasst.
13. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronenreiche organische Verbindung mittels einer Hochleistungsrührereinheit in das aushärtbare organische Material eingerührt und mit Ultraschall beaufschlagt wird.

14. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Photostarter in das aushärtbare organische Material eingebracht wird.
15. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Trennmittel in das aushärtbare organische Material eingebracht wird.
16. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Aushärten mittels Licht im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 1000 nm erfolgt.
17. Verfahren zur Herstellung eines lichtleitenden Materials nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Aushärten durch Zuführung von Wärme erfolgt.

### **Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft ein lichtleitendes Material aus einem transparenten organischen Feststoff sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung. Ein derartiges Material findet in erster Linie Verwendung in einem Lichtwellenleiter.

Ein Lichtwellenleiter besteht im Wesentlichen aus einem Kern aus einem lichtleitenden Material und einen ihn umgebenden Mantel. Dabei wird als Folge der Totalreflexion an der Grenzschicht zwischen Kern und Mantel Licht durch den Lichtwellenleiter geleitet. Totalreflexion tritt auf, solange der Brechungsindex des Kerns größer als der des Mantels ist. Zum Betrieb des Lichtwellenleiters wird auf der einen Seite des Lichtwellenleiters Licht in das darin befindliche lichtleitende Material eingekoppelt; auf der anderen Seite wird das durch das lichtleitende Material transmittierte Licht aus dem Lichtwellenleiter ausgekoppelt.

Herkömmliche Lichtwellenleiter bestehen aus Quarzglas oder aus Kunststoff (Polymer), deren Brechungsindizes Werte von 1,46 bzw. 1,50 aufweisen. Der Vorteil von Lichtwellenleitern aus Polymeren gegenüber solchen aus Glasfasern liegt neben den geringeren Herstellungskosten vor allem in der Biegefähigkeit der Polymer-Lichtwellenleiter.

Lichtwellenleiter können mit einer Reihe von bekannten Verfahren hergestellt werden. Beispielsweise ist aus der DE 41 24 176 A1 sowie aus M. Jöhnck, *Polyacrylate und Polylactone für Anwendungen in einmodigen, integriert optischen, passiven Wellenleitern*, Dissertation, Universität Dortmund, 2000, bekannt, dass sich Polymer-Lichtwellenleiter aus acrylatbasierenden Polymeren herstellen lassen, wobei sich der Brechungsindex des Lichtwellenleiters aus der chemischen Synthese ergibt und damit für ein bestimmtes Material festliegt. Um einen anderen

Wert für den Brechungsindex zu bekommen, muss ein neues Polymer verwendet werden, dessen Synthese im Allgemeinen sehr aufwändig ist.

Polymer-Lichtwellenleiter, die in einem elektronischen Bauteil Verwendung finden, bestehen in der Regel aus einem Substrat, das einen Graben oder eine grabenartige Struktur aufweist. Die Befüllung eines derartigen Grabens bzw. einer derartigen Struktur erfolgt mit einem flüssigen Monomer-Polymer-Gemisch (Reaktionsharz), dessen Brechungsindex größer ist als der des Substrats. Nach der Befüllung wird das Polymer in der Regel durch lichtinduzierte Polymerisation ausgehärtet. Üblicherweise wird nach der Befüllung des Grabens bzw. der grabenartigen Struktur eine Deckschicht aufgebracht. Physikalisch gesehen entsprechen Substrat und Deckschicht dem Mantel, der gefüllte Graben dem Kern des Lichtwellenleiters.

Generell ist es wünschenswert, den Brechungsindex des Kerns durch Zugabe eines geeigneten Materials zu erhöhen, um Totalreflexion über einen weiten Bereich zu erreichen. Vor allem in der Mikrooptik werden Polymere mit möglichst hohem Brechungsindex benötigt, um die Verluste (Fresnel-Verluste) beim Einkoppeln des Lichts in den Lichtwellenleiter zu verringern.

In W. Pfleging, J. Böhm, E. Gaganidze, Th. Hanemann, R. Heidinger, K. Litfin, *Direct laser-assisted processing of polymers for micro-fluidic and micro-optical applications*, Proc. SPIE Vol. 4977: *Photon Processing in Microelectronics and Photonics II in Laser Applications in Microelectronics and Optoelectronic Manufacturing VIII*, Photonics West Conference, 2003, wird hierzu vorgeschlagen, den Brechungsindex im Kern des Lichtwellenleiters dadurch zu erhöhen, dass nanoskalige anorganische keramische Füllstoffe in das flüssige Polymer eingebracht werden. Durch Optimierung der Dispersion dieser Füllstoffe lässt sich der Brechungsindex des Kerns leicht



erhöhen bzw. absenken. Mit dem Dispergieren der Füllstoffe in das Reaktionsharz verschlechtern sich allerdings die Eigenschaften des Lichtwellenleiters signifikant: Mit steigendem Keramikanteil erhöht sich die Viskosität des Reaktionsharzes derart, dass die weitere Verarbeitung wie das Befüllen einer grabenartigen Struktur auf einem Substrat stark erschwert oder völlig unmöglich wird. Zusätzlich nimmt die optische Transmission durch den Lichtwellenleiter stark ab, d. h. die Dämpfung stark zu, was den Anwendungsbereich für derartige Lichtwellenleiter erheblich einschränkt.

Davon ausgehend ist es die Aufgabe der Erfindung, ein lichtleitendes Material, das die genannten Nachteile und Einschränkungen nicht aufweist und insbesondere bei unverringelter Transmission und Viskosität einen einfach festzulegenden Brechungsindex besitzt, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch lichtleitendes Material mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch lichtleitendes Material, das mit den Verfahrensschritten des Anspruchs 11 hergestellt wird, gelöst. Die Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Erfindungsgemäßes lichtleitendes Material besteht aus einem transparenten organischen Feststoff, in dem eine oder mehrere elektronenreiche organische Verbindungen gelöst sind. Als transparenter organischer Feststoff lassen sich bevorzugt Polymere oder Mischungen aus Polymeren und Monomeren einsetzen. Besonders bevorzugt finden hier Monomere wie Methylmethacrylat (MMA) bzw. Polymere wie Polymethylmethacrylat (PMMA) und/oder Polyester Verwendung.

Die vorteilhaften Eigenschaften des erfindungsgemäßen lichtleitenden Materials werden dadurch erzielt, dass elektronen-



reiche organische Verbindungen in den zunächst ungefüllten organischen Feststoff (Polymer) eingebracht werden. Besonders bevorzugte elektronenreiche zyklische organische Verbindungen sind Phenanthren, Anthracen, Fluoren, 1,10-Phenantroline, Phenanthridin, 1,7-Phenantroline, 5,12-Naphtacenequinone, 2,3-Benzanthracene und/oder Phenazin.

Erfindungsgemäß bestehen die Kerne von Lichtwellenleitern aus dem lichtleitenden Material und liegen bevorzugt in Form von dünnen Platten vor. In einer besonders bevorzugten Ausführung liegen die Kerne der Lichtwellenleiter auf einem Substrat in Form einer gefüllten Grabenstruktur mit einer hierauf aufgebrachten Deckschicht vor.

Erfindungsgemäße Lichtwellenleiter weisen einen optischen Brechungsindex des Kerns auf, der für eine Wellenlänge im Bereich von 200 nm bis 2000 nm, insbesondere von 300 nm bis 1900 nm, einstellbar ist.

Die vorliegende Erfindung schlägt weiterhin ein Verfahren zur Herstellung des lichtleitenden Materials vor. Hierzu wird zunächst ein aushärtbares organisches Material bereitgestellt, in dem eine oder mehrere elektronenreiche organische Verbindungen gelöst werden. Abschließend wird das aushärtbare organische Material zusammen mit der oder den hierin gelösten elektronenreichen organischen Verbindungen zu einem transparenten organischen Festkörper ausgehärtet.

Als aushärtbares organisches Material wird bevorzugt eine Mischung aus einem Monomer und einem Polymer gewählt, die zusätzlich einen Photostarter zur Beschleunigung des lichtinduzierten Aushärtens (Polymerisation) sowie ein Trennmittel enthalten kann.

Die elektronenreiche organische Verbindung wird vorzugsweise

mittels einer Hochleistungsrührereinheit in das aushärtbare organische Material eingerührt und anschließend bevorzugt mit Ultraschall beaufschlagt. Das Aushärten erfolgt entweder mittels Licht, das eine Wellenlänge im Bereich von 200 nm bis 1000 nm, besonders bevorzugt von 300 nm bis 800 nm, besitzt, und/oder über die Zufuhr von Wärme.

Die oben genannten elektronenreichen organische Verbindungen lösen sich bevorzugt in niedrig viskosen Reaktionsharzen bis zu einer Konzentration von 30% und verändern den Brechungsindex des ausgehärteten Reaktionsharzes zum Teil signifikant, während dessen optische Transmission nahezu unbeeinflusst bleibt.

Mit der vorliegenden Erfindung wird eine neue Klasse von gefüllten Polymer-Lichtwellenleitern vorgeschlagen. Diese weist insbesondere die folgenden Vorteile auf:

- Der Brechungsindex von Kernen von Lichtwellenleitern lässt sich einfach variieren, insbesondere erhöhen.
- Die positiven optischen Eigenschaften des ungefüllten Polymers, vor allem dessen hervorragende Transmission und Viskosität, bleiben erhalten.
- Die Viskosität kann gegenüber unbehandelten Systemen sogar noch abgesenkt werden, was die Verarbeitbarkeit positiv beeinflusst.
- Bessere Ankopplung an andere lichtführende Bauteile mit hohem Brechungsindex.
- Einfache und kostengünstige Herstellung.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von vier Ausführungsbeispielen näher erläutert.

#### Ausführungsbeispiel 1:

In einen flüssigen Ansatz aus Polymethylmethacrylat (PMMA), Methylmethacrylat (MMA), Trennmittel und Photostarter im

Mischungsverhältnis 80:20:1:1 werden 10 Gewichtsprozent Phenanthren-Pulver gegeben. Das Volumen des Ansatzes beträgt 10 ml. Mit einer Hochleistungsrühreinheit wird dieser Ansatz für 1 bis 5 Minuten bei einer Drehzahl von 10000 bis 25000 U/min gerührt und anschließend für weitere 5 Minuten in ein Ultraschallbad gestellt. Die anschließend vorliegende klare gelbe Flüssigkeit wird dann als Plättchen 2 \* 6 cm mit einer Dicke von 1 mm unter Lichtinduktion in einigen Minuten ausgehärtet oder direkt in vorgefertigte Gräben gefüllt. Der erzielte Brechungsindex des lichtleitenden Materials als Kern eines Lichtwellenleiters liegt bei 1,519 (bei 633 nm), die Transmission ohne Streulicht bei Wellenlängen von 1310 nm und von 1550 nm beträgt ca. 85%.

#### Ausführungsbeispiel 2:

In einen flüssigen Ansatz aus Polymethylmethacrylat (PMMA), Methylmethacrylat (MMA), Trennmittel und Photostarter im Mischungsverhältnis 80:20:1:1 werden 2 Gewichtsprozent Anthracen-Pulver gegeben. Das Volumen des Ansatzes beträgt 10ml. Mit einer Hochleistungsrühreinheit wird dieser Ansatz für 1 bis 5 Minuten bei einer Drehzahl von 10000 bis 25000 U/min gerührt und anschließend für weitere 5 Minuten in ein Ultraschallbad gestellt. Die anschließend vorliegende klare grüngelbe Flüssigkeit wird dann als Plättchen 2 \* 6 cm mit einer Dicke von 1 mm unter Lichtinduktion in einigen Minuten ausgehärtet oder direkt in vorgefertigte Gräben gefüllt. Der erzielte Brechungsindex des lichtleitenden Materials als Kern eines Lichtwellenleiters liegt bei 1,493 (bei 633 nm), die Transmission ohne Streulicht bei Wellenlängen von 1310 nm und von 1550 nm beträgt ca. 63%.

#### Ausführungsbeispiel 3:

In einen flüssigen Ansatz aus Polymethylmethacrylat (PMMA), Methylmethacrylat (MMA), Trennmittel und Photostarter im Mischungsverhältnis 80:20:1:1 werden 15 Gewichtsprozent

Fluoren-Pulver gegeben. Das Volumen des Ansatzes beträgt 10ml. Mit einer Hochleistungsrührereinheit wird dieser Ansatz für 1 bis 5 Minuten bei einer Drehzahl von 10000 bis 25000 U/min gerührt und anschließend für weitere 5 Minuten in ein Ultraschallbad gestellt. Die anschließend vorliegende klare gelbbraune Flüssigkeit wird dann als Plättchen 2 \* 6 cm mit einer Dicke von 1 mm unter Lichtinduktion in einigen Minuten ausgehärtet oder direkt in vorgefertigte Gräben gefüllt. Der erzielte Brechungsindex des lichtleitenden Materials als Kern eines Lichtwellenleiters liegt bei 1,512 (bei 633 nm), die Transmission ohne Streulicht bei Wellenlängen von 1310 nm und von 1550 nm beträgt ca. 85%.

#### Ausführungsbeispiel 4:

In einen flüssigen Ansatz aus Polyester, Trennmittel und Photostarter im Mischungsverhältnis 98:1:1 werden 10 Gewichtsprozent Phenanthren-Pulver gegeben. Das Volumen des Ansatzes beträgt 10ml. Mit einer Hochleistungsrührereinheit wird dieser Ansatz für 1 bis 5 Minuten bei einer Drehzahl von 10000 bis 25000 U/min gerührt und anschließend für weitere 5 Minuten in ein Ultraschallbad gestellt. Die anschließend vorliegende klare gelbe Flüssigkeit wird dann als Plättchen 2 \* 6 cm mit einer Dicke von 1 mm unter Lichtinduktion in einigen Minuten ausgehärtet oder direkt in vorgefertigte Gräben gefüllt. Der erzielte Brechungsindex des lichtleitenden Materials als Kern eines Lichtwellenleiters liegt bei 1,572 (bei 1530 nm), die Transmission ohne Streulicht bei Wellenlängen von 1310 nm und von 1550 nm beträgt ca. 80%.

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft ein lichtleitendes Material, das aus einem transparenten organischen Feststoff besteht, in dem elektronenreiche organische Verbindungen gelöst sind.

Hierdurch kann der Brechungsindex des Kerns eines Lichtwellenleiters einfach eingestellt, insbesondere erhöht werden, während Transmission und Viskosität des transparenten organischen Feststoffs erhalten bleiben.